

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Jakub Vala

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra automatizační techniky a řízení

Model polohovacího pneumatického systému
Model of the Positioning Pneumatic System

Student: Jakub Vala
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Vala**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3902R001 Aplikovaná informatika a řízení
Téma: **Model polohovacího pneumatického systému**
Model of the Positioning Pneumatic System
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se a popište vybrané pneumatické prvky (pneumatický válec, proporcionální ventil), snímače a převodníky v laboratoři H310.
2. Navrhněte model polohovacího systému, umožňující řízení polohy pístu pneumatického válce. Popište jeho vlastnosti a proveďte připojení modelu k vybranému řídicímu systému.
3. Proveďte identifikaci modelu polohovacího systému, proveďte syntézu regulačního obvodu a ověřte funkčnost řídicího algoritmu.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky, jejich využití ve výuce a další směry vývoje v této oblasti.

Seznam doporučené odborné literatury:

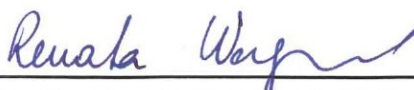
KOPÁČEK, Jaroslav. Pneumatické mechanismy. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. ISBN 80-7078-306-0.
KOPÁČEK, Jaroslav. Pneumatické mechanismy. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2005. ISBN 80-248-0879-X.
NOSKIEVIČ, Petr. Modelování a identifikace systémů. Ostrava: Montanex, 1999. ISBN 80-7225-030-2.
POPIS PLC SIEMENS SIMATIC S7-1500. Popis PLC Siemens Simatic S7-1500 [online]. Siemens 2017 [cit. 2017-10-02]. Dostupné z:
<http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objid=6ES75163AN000AB0&caller=view>.
POPIS KARTY MF634. Popis karty MF634 [online]. Humusoft 2017 [cit. 2017-10-04]. Dostupné z:
<<http://www.humusoft.cz/datacq/mf634/>>.
ZMIJKA, Martin. 2013. Řízení pneumatického pohonu pomocí signálového procesoru. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Katedra 352, 2013, 81 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Poděkování

Tato práce byla vypracována s podporou projektu Příležitost pro mladé výzkumníky, reg. č. CZ.1.07/2.3.00/30.0016 podpořeného Operačním programem Vzdělávání pro konkurenceschopnost, financovaného ze strukturálních fondů EU a státního rozpočtu ČR.

Děkuji panu Ing. Miroslavu Mahdalovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce za pomoc a za poskytnutí konzultací. Dále bych chtěl poděkovat panu Vladimíru Starému za pomoc při vytvoření praktické části bakalářské práce.

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:

.....

Podpis

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было sjednáно, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было sjednáно, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledů na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Jakub Vala

Adresa trvalého pobytu autora práce:

U Dráhy 222
747 57 Slavkov U Opavy

Anotace

Vala, J. *Model polohovacího pneumatického systému: Bakalářská práce*. Ostrava:

VŠB – Technická Univerzita Ostrava, Katedra automatizační techniky a řízení, 2018. 50 stran, Vedoucí práce: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

Tato práce se zabývá řídicím systémem pro pneumatický obvod. Řídicí jednotka je multifunkční I/O karta MF 634 od firmy Humusoft, která je založena na 32 bitové architektuře. Je připojena k elektronické jednotce, která spojuje prvky polohovacího pneumatického systému. Tato elektronická jednotka je navržena také pro připojení PLC automatu Siemens Simatic S7-1500. Hlavním cílem této práce je sestavit pneumatický obvod, navrhnout polohovací systém a ověřit funkčnost celého obvodu. Dále je cílem identifikovat regulovanou soustavu (pneumatický válec) a provést syntézu regulačního obvodu. Poté navrhnout řídicí algoritmus a ověřit jeho funkčnost.

Klíčová slova: pneumatický obvod, proporcionální ventil, řídicí systém, Č/A převodník, multifunkční I/O karta MF 634

Annotation

Vala, J. *Model of the Positioning Pneumatic System: Bachelor thesis*. Ostrava:

VŠB – Technical University of Ostrava, Department of Control Systems and Instrumentation, 2018, 50 p. Term head: Ing. Miroslav Mahdal, Ph.D.

This thesis deal with the control system designed for controlling the pneumatic circuit. The control unit is represented by the I/O card MF 634, made by the company Humusoft, which is based on 32bit architecture. The control unit is connected to the electronic unit, which allows the control system to be connected with other parts of pneumatic circuit. This unit is designed with connector to connect other control system which is PLC controller Siemens Simatic S7-1500. The main goal of this thesis is to build the pneumatic circuit, to design the positioning system and to verify that the whole system is working properly. The next goal is to identify the regulated system and let the synthesis be done. In this thesis the pneumatic circuit was built and was verified that the whole circuit is working properly. The next goal is to design the control algorithm and to verify if it works properly.

Key words: pneumatic circuit, proportional valve, control system, D/A convertor, multifunction I/O card MF 634

Obsah

Seznam použitých značek, symbolů a zkratk	9
Seznam použitých veličin	10
Úvod	11
1 Popis jednotlivých prvků pneumatického obvodu.....	12
1.1 Pneumatický obvod	12
1.2 Přímocharé pneumatické motory (pneumatické válce)	14
1.3 Řídící prvky	15
2 Pneumatický polohovací systém	16
2.1 Elektronická jednotka	17
3 Sestavení pneumatického obvodu	21
3.1 Pneumatický válec	21
3.2 Proporcionální ventil	25
3.3 D/A převodník	27
3.4 Zapojení pneumatického obvodu	28
4 Popis řídicí jednotky	30
4.1 multifunkční I/O karta MF634	30
5 Identifikace modelu a syntéza regulačního obvodu	33
5.1 Identifikace soustavy	33
5.2 Aproximace soustavy	35
5.3 Syntéza regulačního obvodu	36
6 Řídící algoritmus	39
Zhodnocení dosažených výsledků	44
Seznam použité literatury	46
Seznam příloh a seznam příloh na CD	48

Seznam použitých značek, symbolů a zkratek

I/O	input/output – vstup/výstup
PLC	programmable logic controller – programovatelný logický automat
Č/A	číslicový/analogový
D/A	digitální/analogový
DC	direct current – střídavý proud
AC	alternating current – stejnosměrný proud
PCI	peripheral component interconnect – počítačová sběrnice pro připojení periférií k základní desce
A/Č	analogový/číslicový
A/D	analogový/digitální
TTL	tranzistorová-tranzistorová logika
PC	personal computer – osobní počítač
AGND	analogue ground – analogové uzemnění signálu
DOUT	digital output – digitální výstup
CPU	central processing unit – řídicí jednotka
IE	industrial ethernet – ethernetová připojení
RAM	random access memory – operační paměť
UEM	univerzální experimentální metoda
MPM	metoda požadovaného modelu
G _s (s)	obrazový přenos soustavy

Seznam použitých veličin

bar	jednotka tlaku
s	sekunda – jednotka času
mA	miliampér – jednotka elektrického proudu
V	volt – jednotka elektrického napětí
MPa	megapascal – jednotka tlaku
m/s	metr za sekundu – jednotka rychlosti
mm	milimetr – jednotka délky
Ω	ohm – jednotka elektrického odporu

Úvod

V dnešní době se v průmyslu používají pneumatické systémy pro linkovou výrobu. Tyto systémy je nutné řídit řídicí jednotkou např.: mikroprocesorem. Vedle mikroprocesorů se také používají PLC automaty. Tato práce pojednává o tom, jak navrhnout řídicí systém pomocí I/O karty. Navržený řídicí systém je aplikován na polohovací pneumatický systém. Cílem této práce je vytvořit regulační obvod. Regulovanou soustavou je funkční pneumatický pohon. Regulátorem je řídicí jednotka. Zpětná vazba a zároveň regulovaná veličina je poloha pístu pneumatického válce. Poloha je odměřována pomocí snímače, který je zabudován v pneumatickém válci (pneumomotoru). Je nutné ověřit funkčnost celého pneumatického obvodu. Výstupem této práce je navržený řídicí algoritmus, kterým je možné ovládat polohovací pneumatický systém.

1 Popis jednotlivých prvků pneumatického obvodu

V této kapitole jsou popsány prvky pneumatického obvodu, jejich výhody a nevýhody. Tyto prvky jsou následně použity v této práci.

1.1 Pneumatický obvod

Stavba pneumatického obvodu se ve své podstatě podobá hydraulickému obvodu. U pneumatického pohonu je zdrojem energie vzduch, který je vysoce stlačitelný.

Pneumatické obvody se používají pro menší výkony než hydraulické obvody. Je to způsobeno hlavně stavbou obvodu a také tím, že původce energie je stlačený vzduch. Energie stlačeného vzduchu se v pneumatickém obvodu přeměňuje na mechanickou energii. Energii stlačeného vzduchu můžeme rozdělit na 3 základní složky, a to kinetickou, potenciální a tlakovou (Kopáček, 1998).

Výhody použití pneumatických obvodů

- Již z hlediska použití zdroje energie, což je u pneumatických obvodů stlačený vzduch, je výhoda při poruše nebo rozbití vedení v tom, že vzduch neznečistí okolí, jak by se mohlo stát u hydraulických obvodů.
- V prostředí, kde teplota kolísá mezi dvěma výrazně rozdílnými teplotami, tato skutečnost vzduch tolik neovlivní. V případě kapaliny, která je zdrojem energie u hydraulických obvodů, dojde k podstatné změně vlastností, např.: viskozity.
- Ústřední výroba stlačeného vzduchu.
- Snazší údržba a péče o kvalitu stlačeného vzduchu.
- Použití pouze jednoho vodiče pro rozvádění vzduchu po obvodu. U hydraulických obvodů je potřeba použít až tři vodiče, které musí být dokonale utěsněné (Kopáček, 1998).

Nevýhody použití pneumatických obvodů

- Výroba stlačeného vzduchu je poměrně drahá, což je způsobeno vznikem ztrát při rozvádění vzduchu po obvodu. Především u pracovních prvků není rozvod vzduchu dokonalý.
- Hlučnost, která vzniká při vypouštění vzduchu rozvaděčem do atmosféry.
- Stlačený vzduch způsobuje, že řízení, návaznost a plynulost jednotlivých pneumatických prvků je obtížné při proměnlivém zatížení. Způsobuje také malou tuhost mechanismu.
- U pneumatických obvodů je tlak potřebný ke stlačení vzduchu mnohem menší než u hydraulických obvodů. Přibližně od 2 *bar* do 16 *bar* (Kopáček, 1998).

Stlačený vzduch

Stlačený vzduch je potřeba získat z atmosférického vzduchu. Atmosférický vzduch se skládá ze směsi suchého vzduchu, pevných částic a vodních par v různé koncentraci.

Stlačený vzduch je relevantní pro pneumatické obvody, protože je původce energie.

Změna viskozity vzduchu s teplotou a tlakem se neuvažuje, protože tyto změny jsou zanedbatelné (Kopáček, 1996).

Kompresor (Pneumatický generátor)

Jako zdroj tlakové energie slouží kompresor. Pneumatický generátor neboli kompresor rozvádí vzduch po obvodu pomocí hadic přes ventil až do pneumatického válce. Tam dochází k přeměně tlakové energie v mechanickou a zároveň se generuje pohyb (Kompresor, 2017).

Pneumatický motor

Pneumatický motor je zařízení, které spotřebovává tlakovou energii a přeměňuje ji na kinetickou energii, tedy na přímočarý pohyb, nebo rotační pohyb.

Pneumatické motory dělíme na: motory s přímočarým pohybem výstupního členu, motory s kývavým pohybem výstupního členu, motory s rotačním pohybem výstupního členu.

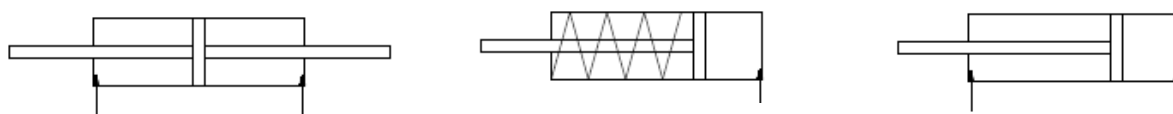
V této práci je použit pouze pneumatický motor s přímým pohybem výstupního členu (Kopáček, 1996).

1.2 Přímočaré pneumatické motory (pneumatické válce)

Přímočaré pneumatické motory se v průmyslu používají nejčastěji. Skládají se z pneumatického válce a pístu. Mohou být jednočinné, dvojčinné, s jednostrannou pístnicí, nebo oboustrannou pístnicí.

U jednočinného pneumatického válce proudí do jedné komory válce na kruhový prostor pístu stlačený vzduch a uvádí píst do pohybu (píst se vysouvá z válce). K reverzaci pohybu slouží pružina, která navrácí píst zpět do válce za současného odvádění vzduchu z válce.

U dvojčinných pneumatických válců je podobný princip jako u jednočinných válců, ale k reverzaci pístu dochází pomocí ventilu, jehož funkce zastává funkci pružiny. Při vysouvání pístu z válce proudí vzduch na kruhový prostor pístu a vysouvá ho a při zasouvání proudí stlačený vzduch na mezikruží pístu a zasouvá ho zpátky do pneumatického válce.



Obrázek 1 Zleva dvojčinný pneu. válec s dvojstrannou pístnicí, jednočinný pn. válec s pružinou, dvojčinný pn. válec s jednostrannou pístnicí (Kopáček, 1996)

1.3 Řídicí prvky

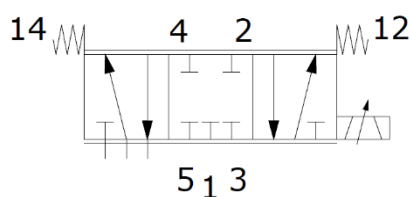
Řídicí prvky se dělí podle toho, jakou funkci v pneumatickém obvodu zastávají. Dělí se na prvky, které slouží k hrazení průtoku a na prvky, které slouží k regulaci průtoku a tlaku. Hrazení průtoku se rozumí úplné zastavení proudění v jednom, nebo obou směrech a k tomu slouží rozváděče. K regulaci tlaku a proudění pak slouží ventily (Kopáček, 1998).

Rozváděče

Rozváděče jsou zařízení, která se používají k zastavení průtoku zdroje energie u pneumatických, či hydraulických motorů. Dále se používají k regulaci rychlosti a k regulaci směru pohybu motorů.

Mohou se dělit podle toho, jaký mají počet vstupů a výstupů, na dvojcestné až pěticestné, nebo se mohou dělit podle toho, jaký mají počet poloh, na dvoj-polohové až troj-polohové, nebo podle způsobu ovládání polohy. Ovládání rozváděčů se dělí na 4 základní typy: mechanické, pneumatické, hydraulické, nebo elektrické. Tyto 4 základní typy se mohou spolu kombinovat, a tak se rozváděče ovládají např.: mechanicko-elektricky nebo pneumaticky atd.

Značení vstupů a výstupů u rozváděčů se značí buď písmeny, anebo čísly. Vstupy rozváděče se značí obvykle číslem 1 a písmenem T/R nebo číslem 3/5. Výstupy rozváděče se značí písmeny čísly 2/4 (Kopáček, 1996).



Obrázek 2 Popis pěticestného troj-polohového rozváděče ovládaného elektricky (Kopáček, 1996)

2 Pneumatický polohovací systém

Pneumatický polohovací systém se skládá z pneumatického válce, ze snímače polohy pneumatického válce, D/A převodníku, proporcionálního ventilu, řídicí jednotky, kterou představuje I/O karta MF634 a elektronické jednotky.

Hlavním prvkem polohovacího systému je proporcionální ventil. Slouží jako akční člen. Je ovládán elektricky analogovým signálem, který vede z elektronické jednotky z D/A převodníku I/O karty, o velikosti $0-10\text{ V}$. Ventil je napájen zdrojem napájení o velikosti 24 V . Proporcionální ventil je podrobněji popsán v následující kapitole.

Další prvek je snímač polohy pneumatického válce. Slouží jako zpětná vazba, neboť dodává informace o poloze pístu válce. Senzor polohy pístu vysílá digitální signál do D/A převodníku a ten jej mění na analogový signál. Hodnota analogového signálu nabývá hodnot od $0,11\text{ V}$ do $9,98\text{ V}$. Při maximálním vysunutí pístu je hodnota napětí přibližně $9,98\text{ V}$ a při maximálním zasunutí pístu do válce je hodnota napětí přibližně $0,11\text{ V}$. Ideálně by hodnota, která udává polohu pístu pneu. válce měla být $0-10\text{ V}$, a proto se upraví měřený signál tak, že se od něj nejprve odečte hodnota $0,11$, a pak se vynásobí konstantou $1,02145$. Odměřování polohy je také napájeno zdrojem 24 V (Návod k použití DNCI-EN, 2017).

Nezbytnou součástí systému je D/A převodník, který slouží k připojení snímače polohy pístu pneu. válce k řídicí jednotce a ke konverzi digitálního signálu na analogový. Aby převodník fungoval správně musí se nastavit referenční vstup a kalibrační vstup snímače polohy pístu pneumatického válce.

Popis inicializace převodníku:

1. Zasunutí pístu do válce.
2. Na referenční vstup (šedý kabel – *pin 5*) je přivedeno vstupní napětí 10 V (spínáno digitálním výstupem z řídicí jednotky logickou jedničkou) po dobu minimálně $0,5\text{ s}$ (*S1 bliká zeleně, S2 svítí červeně*).
3. Resetuje se signál na referenčním vstupu (Z digitálního výstupu řídicí jednotky je poslána logická nula). Jakmile se signál projeví napětím 18 V (může být se zpožděním větším než $0,1\text{ s}$) na referenčním výstupu (zelený kabel – *pin 3*) referenční bod je uložen (*S1 svítí zeleně, S2 svítí žlutě*).

4. Vysunutí pístu na koncovou polohu.
5. Na kalibrační vstup (ružový kabel – *pin 6*) je přivedeno napětí 10 V po dobu minimálně $0,5\text{ s}$ (spínáno digitálním výstupem řídicí jednotky logickou jedničkou) (*S1 svítí zeleně, S2 nesvítí*).
6. Resetuje se signál na kalibračním vstupu (*Z* digitálního výstupu řídicí jednotky je poslána logická nula). Jakmile se signál projeví (může být se zpožděním větším než $0,1\text{ s}$) na vstupu „připravený vstup“ napěťový signál (modrý kabel – *pin 7*), pracovní poloha pístu je uložena (*S1 svítí zeleně, S2 nesvítí*).

Referenční a připravený výstup nebyl připojen k řídicí jednotce z důvodu, že na těchto výstupech ze snímače bylo příliš velké napětí. Kdyby se tyto výstupy připojily na A/D převodníky řídicí jednotky, přesáhlo by se maximální dovolené napětí a mohlo by dojít k poškození. Z tohoto důvodu nebyly kontrolovány tyto signály ze snímače polohy pístu. (Stručná dokumentace DADE-MVC-Z6, 2015).

Podrobný popis D/A převodníku je v následující kapitole.

2.1 Elektronická jednotka

Elektronická jednotka slouží pro propojení jednotlivých prvků, pro rozvádění napájecího napětí a pro inicializaci snímače. Ve vytvořené elektronické jednotce se nachází zdroj napájení, deska plošných spojů, deska plošných spojů se svorkovnicí pro připojení I/O karty a konektor pro připojení PLC automatu.

Aby se snímač polohy pístu pneumatického válce inicializoval, musí do něj být dodáno napětí minimálně 10 V . Napětí o velikosti 10 V ale nelze dodat přes I/O kartu z D/A převodníku karty. Na pinu D/A převodníku, který se nachází na desce plošných spojů I/O karty, dochází k velkému úbytku napětí a do snímače polohy pístu není dodán potřebný proud k inicializaci. K úbytku napětí dochází vlivem připojení zátěže v podobě snímače. Proto je nutné dodat napětí o velikosti 10 V ze zdroje napájení 24 V DC . Toto napětí je vedeno přes stabilizátor napětí a je přeměněno na stabilních 12 V DC . Dalšími úbytky napětí přes rezistory je do snímače dodáno potřebných 10 V . Toto napětí ale nemůže do snímače proudit neustále, a proto bude proudit přes optočlen na NPN fototranzistor, který bude spínán pouze tehdy, když na obvod s diodou bude dodáno napětí o velikosti 2 V . Napětí 2 V je dodáno z digitálního výstupu z I/O karty logickou jedničkou, která má velikost právě 2 V .

Součástky elektronické jednotky byly vyzkoušeny na nepájivém poli. Pro lepší propojení součástek byla vytvořena deska plošných spojů.

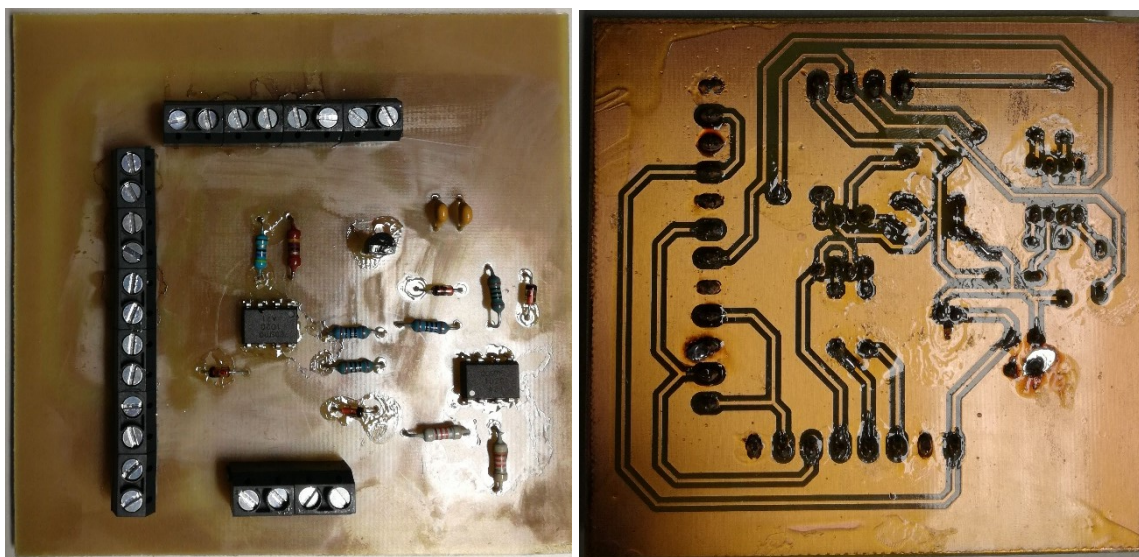
Propojení všech součástek (optočlenů, rezistorů, stabilizátoru napětí atd.) je realizováno na desce plošných spojů. Pro tuto práci je použita jednovrstvá deska plošných spojů.

Pro návrh desky plošných spojů je použit software Eagle od firmy Autodesk. Pro vytvoření desky bylo nutné navrhnout schéma elektrického obvodu. Schéma bylo navrženo a vytvořeno, viz obrázek 28.

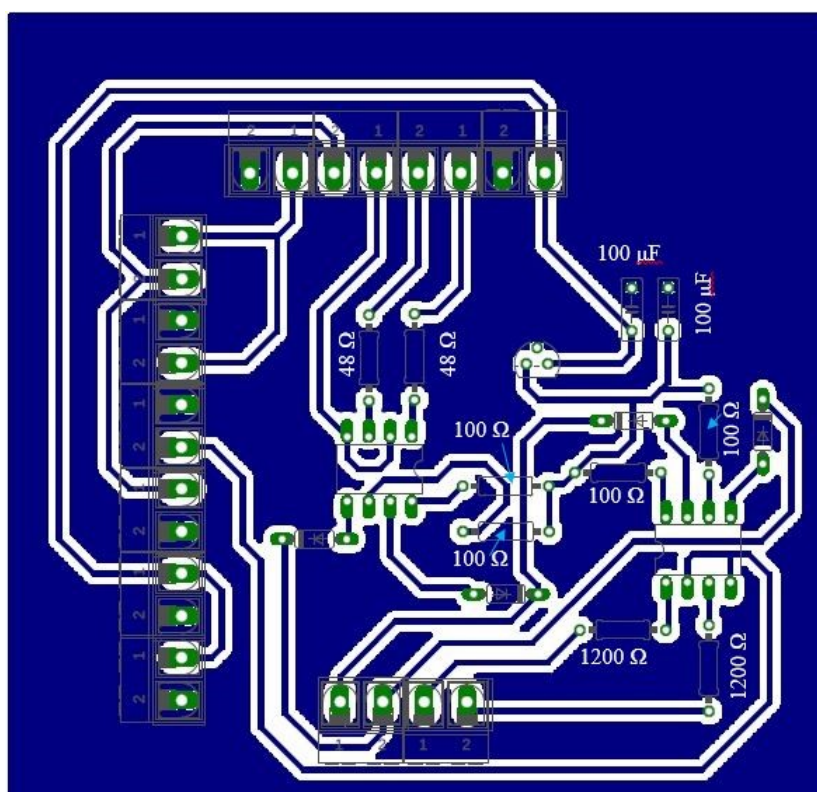
Deska plošných spojů je osazena součástkami ze strany, kde není vodivá vrstva a následně jsou konektory součástek připájeny na vodivou vrstvu a tím jsou tak součástky spojeny s cestami plošného spoje.

Přes elektronickou jednotku je tedy řízen pneumatický obvod I/O kartou. Navržená elektronická jednotka byla vytvořena také pro možnost připojení PLC automatu. Řízení polohovacího pneumatického obvodu je ale možné pouze z jedné řídicí jednotky, protože v případě použití obou řídicích systémů by došlo ke kolizi signálů. Proto jsou do elektronické jednotky zabudovány konektory jak pro I/O kartu, tak pro PLC automat. Vstupy a výstupy pro I/O kartu jsou vytvořeny na desce plošných spojů. Vytvořená deska plošných spojů je potom propojena s deskou plošných spojů výrobce I/O karty MF634. Podrobný popis desky plošných spojů viz příloha B.

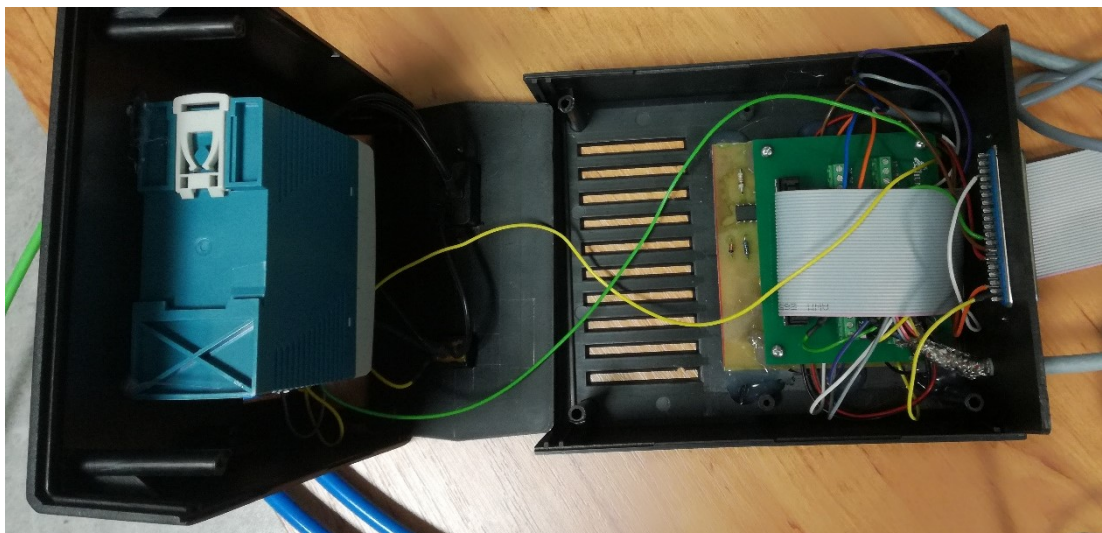
Pro PLC je zde v elektronické jednotce konektor s 37 piny. Pro tuto úlohu je potřeba pouze 6 pinů. *PIN 37* a *PIN 36* slouží k připojení k zemi pro PLC (*GND*), *PIN 30* slouží jako analogový výstup z PLC. Tímto analogovým výstupem je na proporcionální ventil posílán akční zásah. *PIN 22* je analogový vstup do PLC. Analogový signál, který jde ze snímače polohy pístu pneumatického válce na *PIN 22* udává informaci o poloze pístu ve voltech *0-10 V*. Vstupem do PLC je tento analogový signál konvertován na digitální signál a do PLC vstupuje jako digitální vstup. *PIN 13* a *PIN 14* jsou digitální výstupy, které slouží k inicializaci snímače. Když je píst válce zasunutý, z *PIN 13* je poslán signál „logická jedna“ a následně je signál vypnut. Potom je píst vysunut do maximální polohy (*250 mm*) a z *PIN 14* je poslán digitální výstup „logická jedna“ a následně je vypnut (SIMATIC S7-1500 CPU 1516-3 PN/DP, 2016).



Obrázek 3 Vlevo: vytvořená deska plošných spojů shora osazená součástkami, vpravo: deska plošných spojů ze spodní strany (připájené konektory součástek a cesty)



Obrázek 4 Návrh desky plošných spojů



Obrázek 5 Náhled na vytvořenou el. jednotku

3 Sestavení pneumatického obvodu

Hlavními prvky pneumatického obvodu jsou pneumatický válec, proporcionální ventil a pneumatický generátor. Pneumatický generátor, proporcionální ventil a pneumatický motor jsou mezi sebou propojeny pneumatickým vedením a tím je zajištěno proudění vzduchu pneumatickým obvodem.

3.1 Pneumatický válec

Pro tuto práci je zvolen dvojcestný pneumatický válec s jednostrannou pístnicí s tlumením, a to pneumatický válec DNCI 32-250-P-A od firmy FESTO. Křyt válce je vyroben z eloxovaného hliníku. Je tedy chemicko-tepelně zpracován, je pokryt vrstvou oxidu hlinitého, a je tak chráněn před oxidací. Píst je vyroben z oceli.

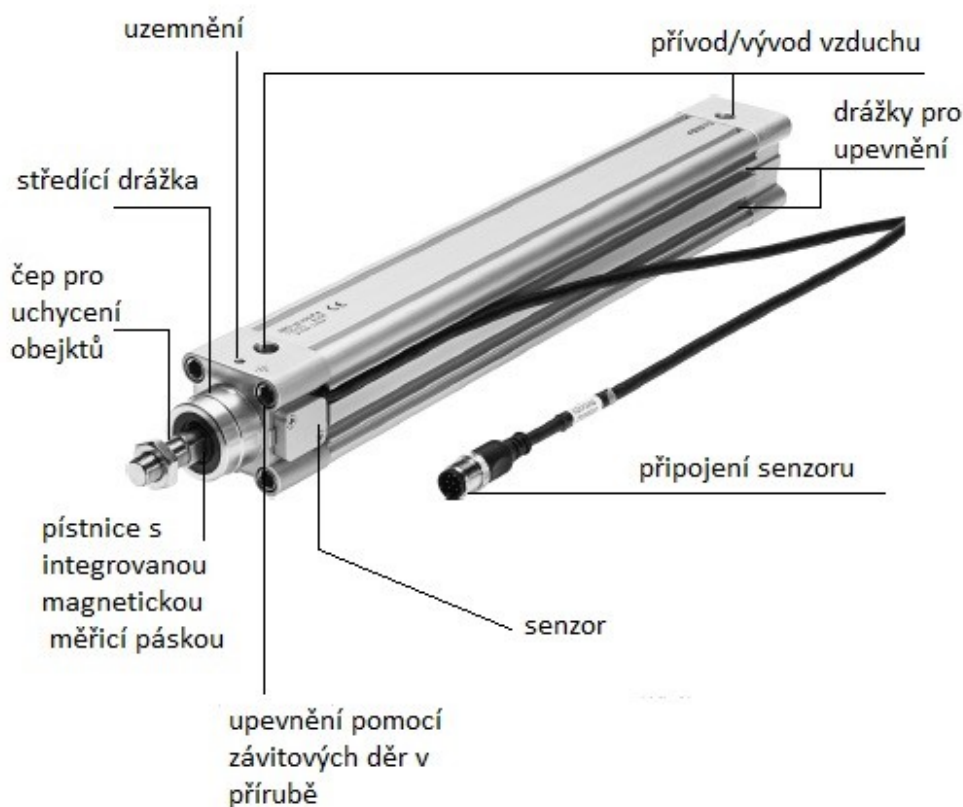
Tabulka 1 Pneumatický válec od firmy FESTO (Návod k použití DNCI-EN, 2017)

DNCI	32	250	P	A
Standardní pneumatický válec	Průměr pístu [mm]	Zdvih pístu [mm]	Elastické tlumicí kroužky	Měření pozice prostřednictvím senzoru

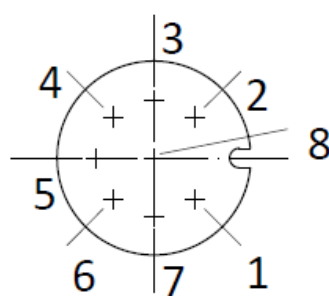
Provozní tlak válce je od 1 bar ($0,1 \text{ MPa}$) do maximální hodnoty 12 bar ($1,2 \text{ MPa}$).

Minimální rychlost pístu je $0,05 \text{ m/s}$ a maximální rychlost, kterou se píst může pohybovat je $1,5 \text{ m/s}$. Odezva systému na signál je menší než $0,005 \text{ s}$. Na obou koncích pneumatického válce jsou otvory se závitem $G1/8$. Slouží k přívodu nebo odvodu stlačeného vzduchu. Na stranách válce jsou drážky pro jednoduché upevnění k základně, viz obrázek 6 (Návod k použití DNCI-EN, 2017).

V pístu pneumatického válce je magnetická páska. V krytu ložiska se nachází senzor, ten zachytává magnetické vlny, které vysílá magnetická páska v pístu. Senzor pak přeměňuje magnetické vlny na digitální signál. Senzor si poté určí polohu pístu z digitálního signálu. K reverzaci pohybu pístu slouží u tohoto pneumatického válce proporcionální ventil (Návod k použití MPYE-_-B-D2, 2014).



Obrázek 6 Pneumatický válec od firmy FESTO (Návod k použití DNCI-EN, 2017)



Obrázek 7 Konektor snímače polohy pneu. válce z pohledu pinů (Návod k použití DNCI-EN, 2017)

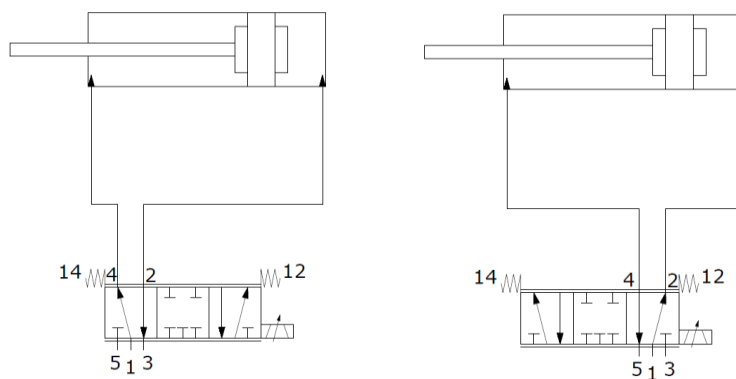
Propojení senzoru a řídicího systému je umožněno pomocí kabelu, který vede ze senzoru přes D/A převodník až do řídicího systému. Kabel je složen z jednotlivých pinů viz obrázek 7 a tabulka 2.

Tabulka 2 Význam jednotlivých pinů konektoru (Návod k použití DNCI-EN, 2017)

číslo pinu	barva vodiče	funkce vodiče
pin 1	černá	napěťový signál $U_b = +5\text{ V}$
pin 2	hnědá	$U = 0\text{ V/-}$
pin 3	červená	signál sinus +
pin 4	oranžová	signál sinus -
pin 5	zelená	signál kosinus +
pin 6	žlutá	signál kosinus -
pin 7	bílá	prověřování
pin 8	-	-

Pohyb pístu je ovládán pomocí proporcionálního ventilu, který je ovládán elektricky.

Pokud se píst z válce vysouvá, přepne se proporcionální ventil do polohy 12. Stlačený vzduch proudí z kompresoru přes ventil do pneumatického válce a vysouvá píst. Vzduch, který se nachází za pístem na mezikruží, proudí ven do atmosféry.



*Obrázek 8 Zleva: poloha ventilu při zasouvání pístu, poloha ventilu při vysouvání pístu
(Návod k použití DNCI-EN, 2017)*

Pro zasunutí pístu se přepne proporcionální ventil do polohy 14 viz obrázek 8. Stlačený vzduch pak proudí do prostoru za pístem na mezikruží a zasouvá píst do válce. Vzduch, který je v prostoru před pístem, na kruhové ploše, proudí přes ventil a tlumiče hluku ven do atmosféry (Návod k použití MPYE-_-B-D2, 2014).

Výpočet délky vysunutí pístu

Pro výpočet délky vysunutí pístu je použit následující vzorec (1). Počítá se s napětím, které je dáno senzorem při maximálním vysunutí pístu a napětím, které je dáno senzorem při maximálním zasunutí pístu (Návod k použití DNCI-EN, 2017).

$$x = l - \left(\frac{U_{max} - U_o}{U_{max} - U_{min}} \cdot l \right) [mm] \quad (1)$$

U_{max} – napětí dané senzorem při maximálním vysunutí pístu

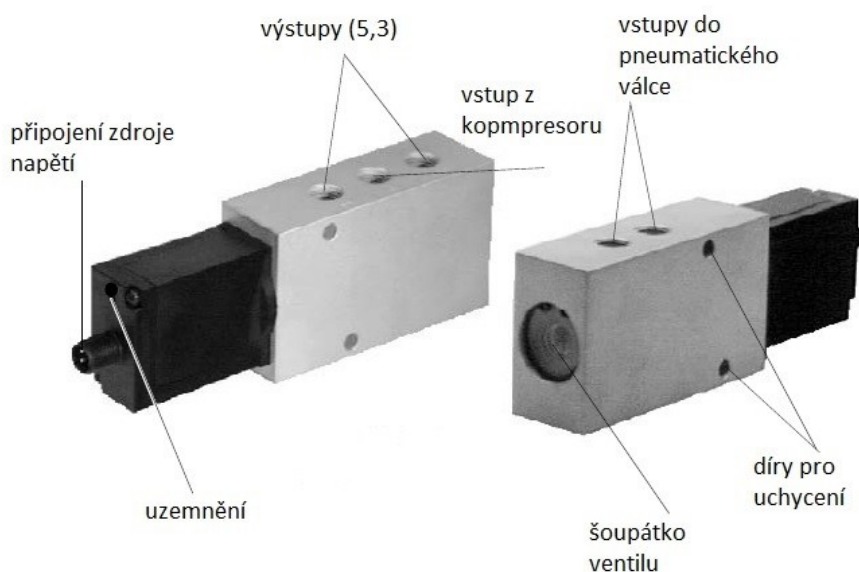
U_{min} – napětí dané senzorem při maximálním zasunutí pístu

U_o – okamžitá hodnota napětí daná senzorem

l – délka pístu [mm]

3.2 Proporcionální ventil

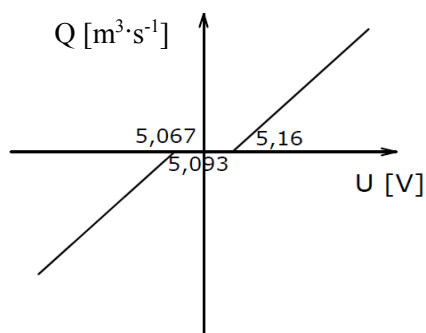
Proporcionální ventil neboli rozváděč slouží k ovládání pohybu pístu pneumatického válce. Pro tuto práci se používá pěticestný, troj-polohový rozváděč ovládaný elektricky – MPYE-5-1/8-LF-010-B od firmy FESTO, který byl navržen pro regulaci polohy a rychlosti pístu pneumatického válce. Schéma proporcionálního ventilu je nakresleno v uzavřené poloze. Pro kontrolu pohybu šoupátka ventilu slouží okýnko na spodní straně ventilu.



Obrázek 9 Proporcionální ventil od firmy FESTO (Návod k použití MPYE-_-B-D2, 2014)

Ventil je ovládán elektrickým signálem. Elektrický signál u těchto ventilů, kterým se ovládá proporcionální ventil, bývá buď napěťový, nebo proudový. V tomto případě se jedná o napěťový signál. Charakteristika grafu závislosti objemového průtoku vzduchu na dodaném napětí je proporcionální viz obrázek 10. Regulací napětí můžeme ovládat objemový průtok vzduchu, tudíž tento proporcionální ventil také zastává funkci škrtícího ventilu.

Jestliže se hodnota vstupní veličiny (napětí) rovná 5 V , ventil je uzavřen a výstupní veličina (objemový průtok vzduchu) je nulová. Ve skutečnosti je ventil uzavřený při velikosti signálu $5,067\text{--}5,16\text{ V}$. Vznikne zde pásmo necitlivosti o velikosti $0,093\text{ V}$. Při hodnotě napětí $0\text{--}5\text{ V}$ se otvírá ventil do polohy 14, viz obrázek 8 a vzduch proudí do válce a vysouvá píst. Množství průtoku vzduchu se reguluje snižováním hodnoty napětí. Čím menší napětí dodáváme, v rozmezí hodnot $0\text{--}5\text{ V}$, tím rychleji proudí vzduch do válce a naopak. Při hodnotě napětí $5\text{--}10\text{ V}$ se přestaví ventil do polohy 12 a vzduch proudí do válce a zasouvá píst. Množství průtoku vzduchu se reguluje snižováním hodnoty napětí.

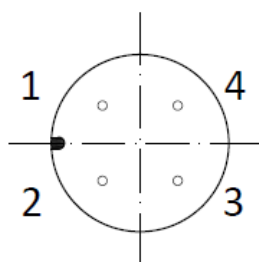


Obrázek 10 Závislost průtoku Q na napětí U

Připojení k proporcionálnímu ventilu k jednotlivým pinům konektoru je následující, viz tabulka 3:

Tabulka 3 Popis pinů konektoru proporcionálního ventilu (Návod k použití MPYE-_-B-D2, 2014)

číslo pinu	barva vodiče	funkce
pin 1	hnědá	napájení +24 V
pin 2	bílá	$U = 0 \text{ V/-}$
pin 3	modrá	Vstup akční veličiny
pin 4	černá	Výstup akční veličiny



Obrázek 11 Popis konektoru proporcionálního ventilu z pohledu pájecích plošek (Návod k použití MPYE-_-B-D2, 2014)

3.3 D/A převodník

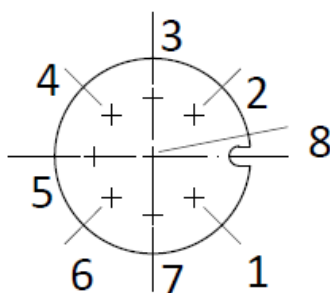
Pro tuto práci je použit převodník DADE-MVS-010 od firmy FESTO. Převodník slouží ke konverzi digitálního signálu na analogový. Přijímá digitální signál z magnetického snímače polohy pístu pneu. válce a převádí ho na analogový napěťový signál o velikosti $0-10\text{ V}$. Hodnotě $0-10\text{ V}$ pak odpovídá poloha pístu $0-250\text{ mm}$ (Stručná dokumentace DADE-MVC-Z6, 2015).

Převodník má 2 konektory (jeden vstup – S2, jeden výstup – S1).

Význam jednotlivých pinů konektoru S1:

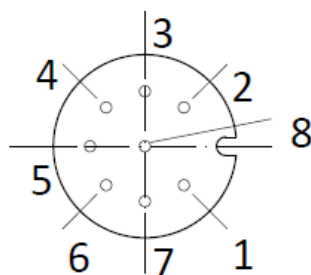
Tabulka 4 Popis pinů konektoru S1 Č/A převodníku (Stručná dokumentace DADE-MVC-Z6, 2015)

číslo pinu	barva vodiče	funkce
pin 1	bílá	zdroj napětí $U_b = +24\text{ V}$
pin 2	hnědá	měřený signál + (analogový)
pin 3	zelená	referenční výstup
pin 4	žlutá	měřený signál -
pin 5	šedá	referenční vstup
pin 6	růžová	kalibrační vstup
pin 7	modrá	připravený výstup
pin 8	červená	zdroj napětí 0 V/-



Obrázek 12 Konektor S1 D/A převodníku z pohledu pájecích plošek (Stručná dokumentace DADE-MVC-Z6, 2015)

Význam pinů konektoru S2 je stejný jako u konektoru snímače pneumatického válce, viz tabulka 2.



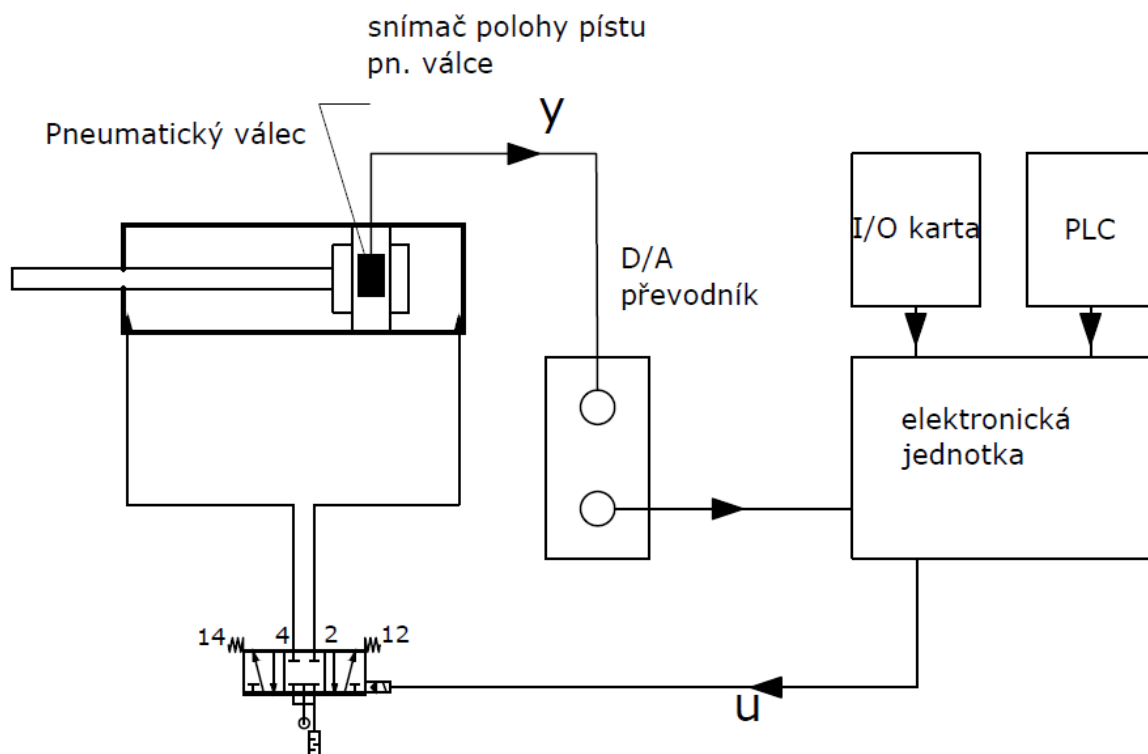
Obrázek 13 Konektor S2 D/A převodníku z pohledu pinů (Stručná dokumentace DADE-MVC-Z6, 2015)

3.4 Zapojení pneumatického obvodu

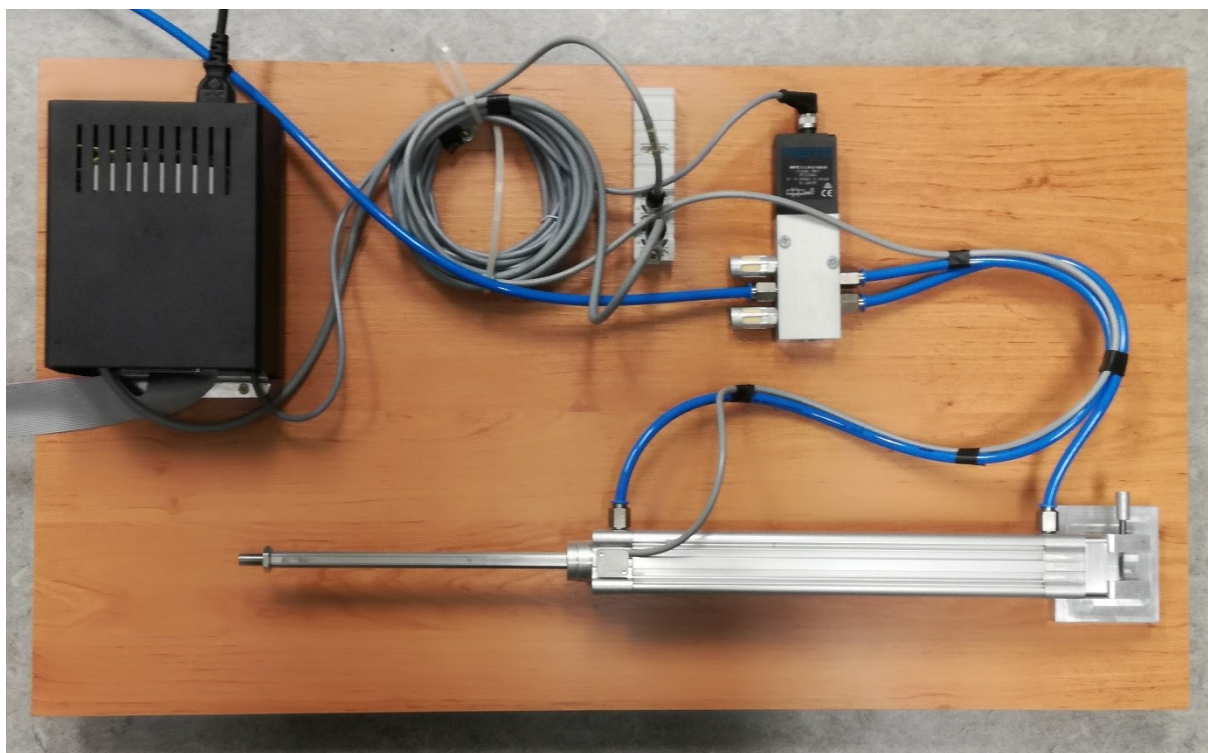
Jednotlivé prvky pneumatického obvodu byly mezi sebou propojeny a byly upevněny na podstavnou desku.

První jsou propojeny mezi sebou pneumatické prvky hadicemi. Pneumatický válec je spojen s proporcionálním ventilem a proporcionální ventil je propojen hadicemi s pneumatickým válcem a kompresorem.

Dále jsou spojeny všechny prvky elektronickými vazbami. Snímač polohy pístu pneumatického válce je spojen s D/A převodníkem kabelem a dále D/A převodník je propojen s elektronickou jednotkou, která je připojena na řídicí jednotku. Dále je připojen kabelem proporcionální ventil k elektronické jednotce. Všechny prvky jsou propojeny mezi sebou viz obrázek 14.



Obrázek 14 Schéma zapojené polohovacího pneu. systému



Obrázek 15 Zapojení jednotlivých prvků pneumatického polohovacího systému

4 Popis řídicí jednotky

V této kapitole je popsána řídicí jednotka, kterou je řízen pneumatický polohovací systém.

4.1 Multifunkční I/O karta MF634

I/O karta MF634 má 32 bitovou architekturu. Karta slouží k tomu, aby bylo možno zpracovat vnější signály, převést je na digitální a propojit je s kompatibilním PC. Karta má dva konektory. První konektor slouží jako A/D a D/A převodníky a druhý konektor plní funkci čítačů a časovačů (MF634 - PCI Express multifunction I/O card, 2014).

Obecné vlastnosti

Karta má 32 bitovou architekturu, což znamená, že je vybavena 32 bitovým procesorem, který je v dnešní době běžný. Dnes se již ale používá také 64 bitová architektura, která oproti 32 bitové architektuře dokáže využít větší paměť.

Následně je popsán první konektor. Je zde 37 vstupů. Prvních osm pinů jsou 14 bitové A/D převodníky, které tvoří obvod vzorkování s pamětí. To znamená, že když přijde na vstup vzorek signálu, tak si jeho hodnotu uloží do paměti až do dalšího vzorkovacího okamžiku.

Dalších osm vstupů jsou 14 bitové D/A převodníky, kde analogový výstup je napětový a jeho rozsah je od -10 V do $+10\text{ V}$.

Následujících 14 vstupů tvoří TTL digitální vstupy a TTL digitální výstupy. Je zde ještě jeden vstup pro uzemnění analogového signálu a jeden vstup pro uzemnění digitálního signálu. Poslední vstup je pro zdroj napětí 5 V (MF634 - PCI Express multifunction I/O card, 2014).

Technické specifikace

Dále jsou popsány technické specifikace řídicí jednotky, tedy I/O karty MF 634.

Č/A převodníky

Č/A převodníky slouží k přijímání číslicových signálů, konvertování na analogový signál a následně vyslání analogového signálu. Č/A převodníky jsou 14 bitové a na konektoru je jich 8. Výstupní proud je nejméně 10 mA a výstupní impedance je nejvíce $0,5\ \Omega$ (MF634 - PCI Express multifunction I/O card, 2014).

A/Č převodníky

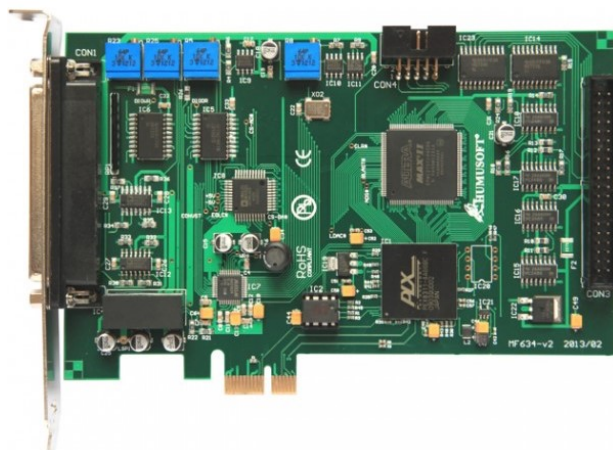
A/Č převodníky slouží k přijímání analogových signálů, pak signál konvertují na číslicový signál, který je zpracován řídicí jednotkou. Převodníky jsou 14 bitové. Na konektoru je jich 8. Čas převodu signálu je $1,6\ \mu\text{s}$ pro jeden pin, $3,7\ \mu\text{s}$ pro 8 pinů. Hodnota analogového napětíového signálu je v rozmezí $\pm 10\text{ V}$. Kritické napětí je $\pm 18\text{ V}$. (MF634 - PCI Express multifunction I/O card, 2014)

Digitální vstupy

Digitálních vstupů je na konektoru 8. Vstup je ve formě TTL. Pro logickou jedničku je hodnota napětí nejméně 2 V a pro logickou nulu je hodnota napětí nejvíce $0,8\text{ V}$ (MF634 - PCI Express multifunction I/O card, 2014).

Digitální výstupy

Počet výstupů na konektoru je 8. Výstupy jsou ve formě TTL. Pro logickou jedničku je hodnota napětí nejméně 2 V a pro logickou nulu je hodnota napětí nejvíce $0,5\text{ V}$ (MF634 - PCI Express multifunction I/O card, 2014).



Obrázek 16 Řídicí jednotka (MF634 - PCI Express multifunction I/O card, 2014)

5 Identifikace modelu a syntéza regulačního obvodu

Identifikace soustavy, tedy pneumatického systému je důležitá z hlediska návržení stavitelných parametrů regulátoru pro danou soustavu. Pro zvolení typu regulátoru a návržení jeho stavitelných parametrů, je nutné naměřit přechodovou charakteristiku soustavy a z ní potom určit obrazový přenos $G_s(s)$.

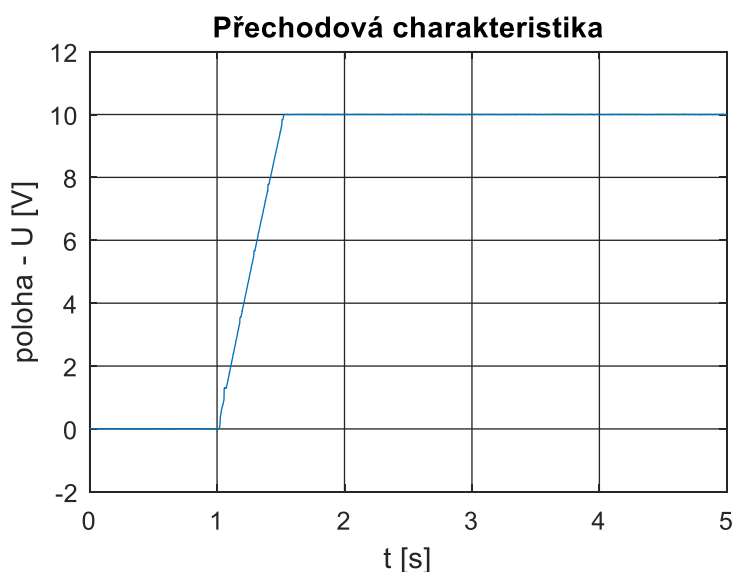
Po zjištění obrazového přenosu soustavy, je možné vybranou metodou syntézy regulačního obvodu určit typ regulátoru a jeho stavitelné parametry (Noskievič, 1999).

5.1 Identifikace soustavy

Identifikace soustavy se provede určením přechodové charakteristiky pneumatického válce.

Kvůli nepřímé úměrnosti vstupních hodnot vůči akčnímu zásahu, je nutno zavést substituci pro vstupní hodnoty. Vstupním hodnotám $(-10)-10\text{ V}$ odpovídají napěťové hodnoty $10-0\text{ V}$. Tento přepočít je pak následně prováděn v MATLAB Simulink pomocí bloku Look-up table, který převádí hodnoty $(-10)-10\text{ V}$ na hodnoty napětí $10-0\text{ V}$.

Po úpravě hodnot akčního zásahu je naměřena odezva soustavy (pneumatického válce) na skokový vstupní signál o velikosti $2,5\text{ V}$, viz obrázek 17. Vstup je přiveden v čase $t = 1\text{ s}$. Vzorkovací perioda při měření je $T = 0,002\text{ s}$.

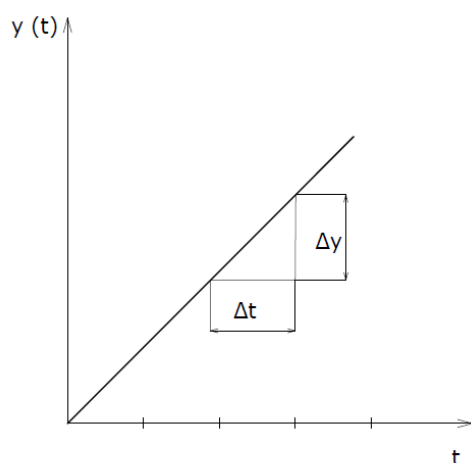


Obrázek 17 Odezva systému na skokový signál o hodnotě $2,5\text{ V}$

Z naměřených dat je zjištěno, že se jedná o nekmitavou integrační soustavu se setrvačností nultého řádu, s dopravním zpožděním. Přenos soustavy vypadá následovně:

$$G_s(s) = \frac{1}{T_I s} e^{-T_d s} \quad (2)$$

Nyní když je naměřená přechodová charakteristika soustavy, je nutné provést aproximaci dané soustavy obrazovým přenosem, jehož tvar je uveden výše ve vzorci (2). Jediné, co je potřeba určit, je časová konstanta T_I . Parametry pro výpočet časové konstanty T_I se určí z grafu, viz obrázek 18. Výpočet časové konstanty je uveden ve vzorci (3) (Noskievič, 1999).



Obrázek 18 Určení časové konstanty T_I (Noskievič, 1999)

$$T_I = \frac{u_0}{\frac{\Delta y}{\Delta t}} \quad (3)$$

5.2 Aproximace soustavy

Soustava je aproximována podle vzorce (2) a je vypočtena časová konstanta T_I (Noskievič, 1999).

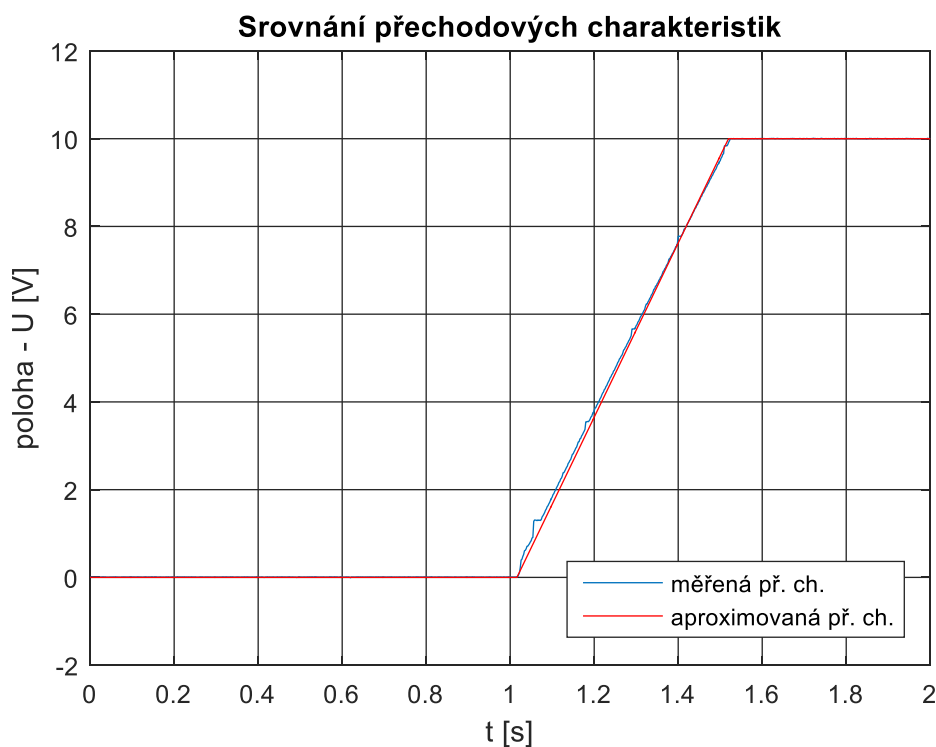
$$T_I = \frac{u_0}{\frac{\Delta y}{\Delta t}} = \frac{2,5}{\frac{3,9701}{0,2}} = 0,1259 \text{ s}$$

Dopravní zpoždění, které vzniklo u této soustavy odečteme z grafu přechodové charakteristiky. $T_d = 0,012 \text{ s}$ (Noskievič, 1999).

Nyní můžeme sestavit obrazový přenos pro tuto soustavu (Noskievič, 1999).

$$G_s(s) = \frac{1}{0,1259s} e^{-0,012s}$$

Z tohoto přenosu je vytvořena aproximovaná přechodová charakteristika a je srovnána s měřenou přechodovou charakteristikou. Vstupní veličina je přivedena na vstup v čase $t = 1 \text{ s}$.



Obrázek 19 Porovnání měřené a aproximované přechodové charakteristiky

5.3 Syntéza regulačního obvodu

Syntéza regulačního obvodu je provedena pomocí dvou metod, a to metody požadovaného modelu a univerzální experimentální metody.

První je použita univerzální experimentální metoda. Podle metody je zvolen P regulátor a je požadován překmit $\kappa = 0\%$. Podle tabulky je dopočítáno zesílení regulátoru (Vítečková, 2008).

$$k_p^* = 0,37 \frac{1}{k_1 T_d} = 0,37 \frac{1}{7,94 \cdot 0,012} = 3,883 \quad (4)$$

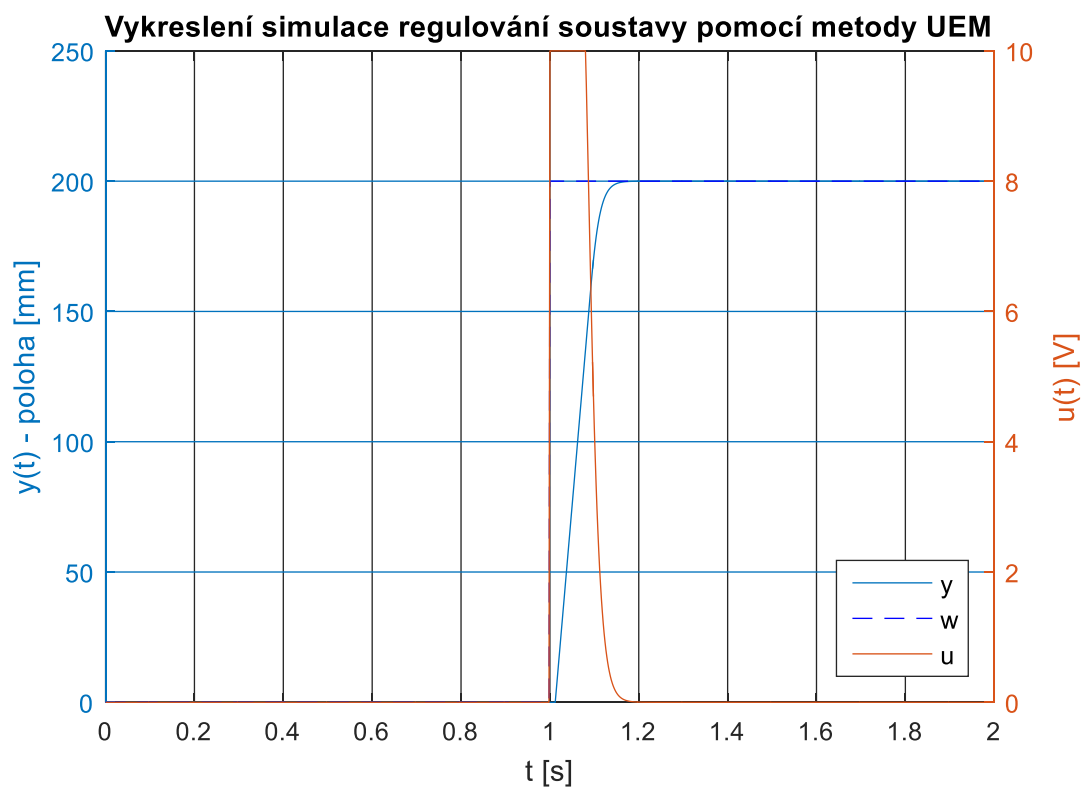
$$G_R^*(s) = 3,883$$

Dále je použita metoda požadovaného modelu. Je požadován také překmit $\kappa = 0\%$ a podle tabulky je na základě tvaru regulované soustavy zvolen P regulátor (Vítečková, 2008).

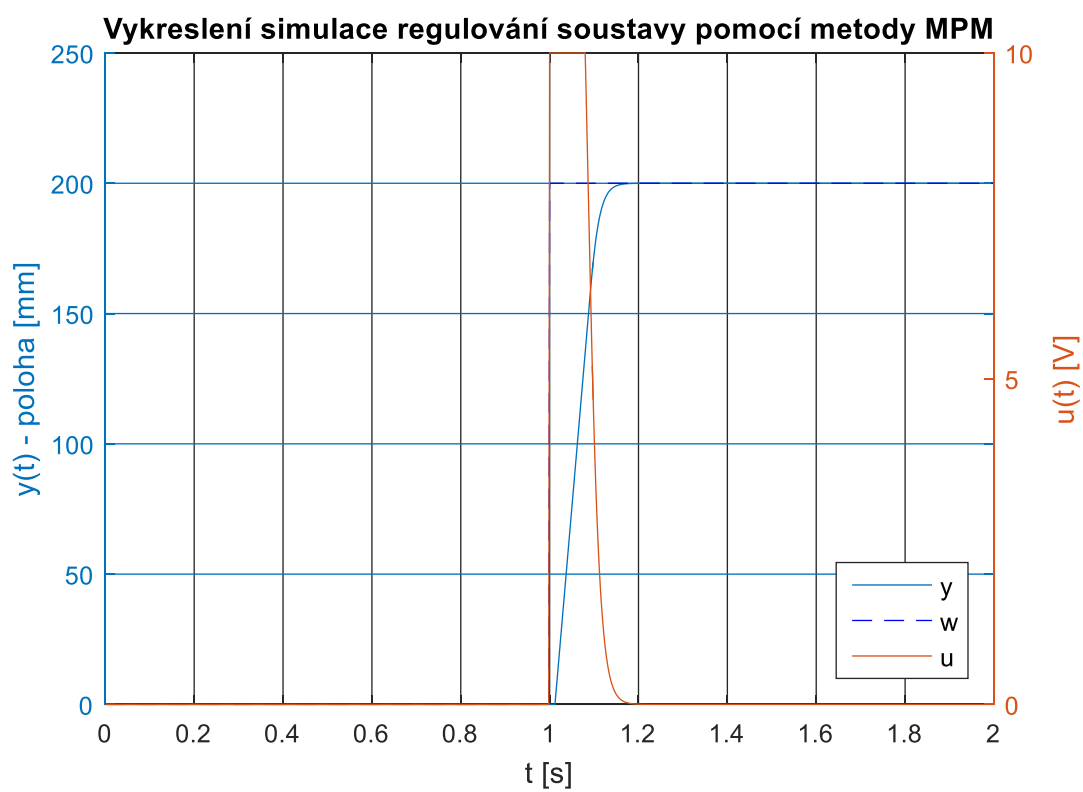
$$k_p^* = \frac{1}{(\alpha T + \beta T_d) k_1} = \frac{1}{(2,718 \cdot 0,012) \cdot \frac{1}{0,1259}} = 3,861 \quad (5)$$

$$G_R^*(s) = 3,861$$

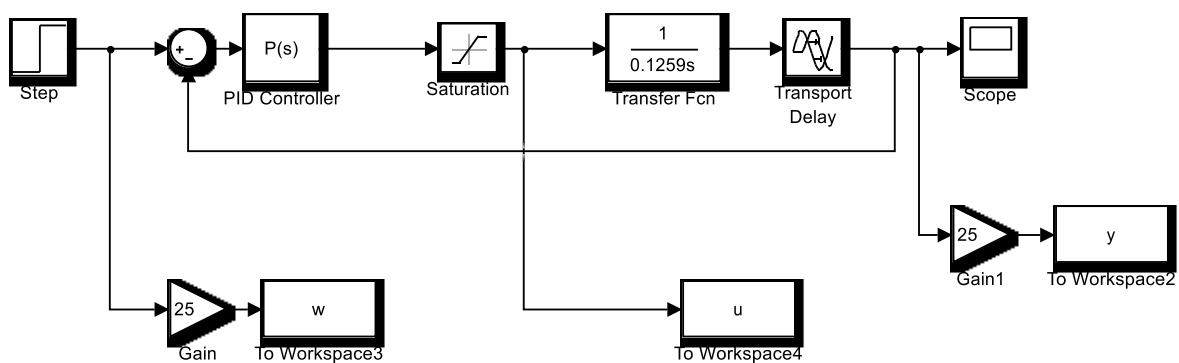
Pro ověření, zda jsou vypočtené hodnoty stavitelných parametrů použitelné pro reálný model a z důvodu nepoškození soustavy je nutné ověřit dosažené výsledky provedením simulace regulování soustavy. Simulační schéma viz obrázek 22 (Vítečková, 2008).



Obrázek 20 Metoda UEM



Obrázek 21 Metoda MPM



Obrázek 22 Simulační schéma

Na obrázcích, viz obrázek 20, obrázek 21, je vidět, že doba regulace je přibližně $0,17\text{ s}$ a regulovaná veličina je bez překmitu.

Při porovnání metod je zřejmé, že simulace jsou téměř stejné, protože zesílení regulátoru vyšlo u obou metod obdobně.

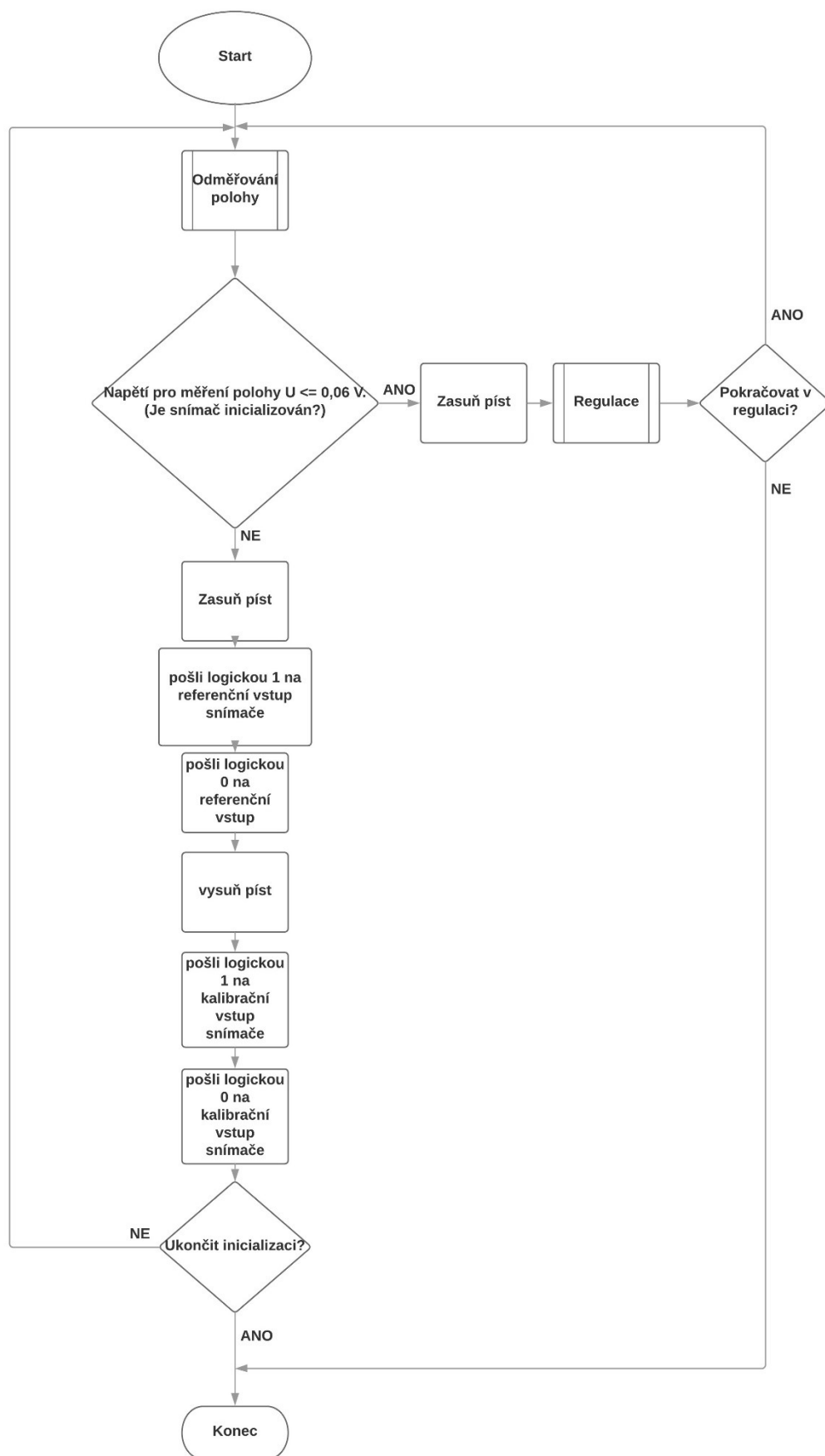
Dále je v následující kapitole ověřena funkčnost regulačního obvodu na reálném modelu a jsou porovnány naměřené výsledky se simulacemi. U obou metod jsou vykresleny grafy. První graf, kde je zobrazená regulovaná veličina ve voltech ($0-10\text{ V}$) a druhý graf, kde je regulovaná veličina zobrazená v mm ($0-250\text{ mm}$).

6 Řídicí algoritmus

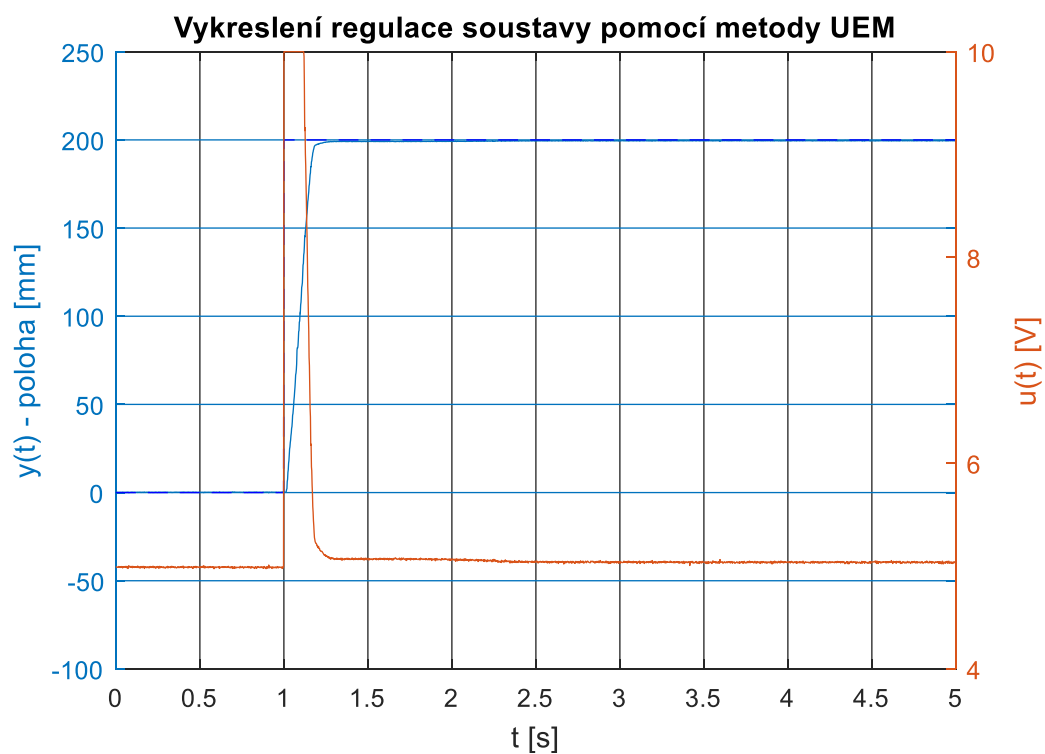
Řídicí algoritmus je prováděn pomocí blokových schémat v programu MATLAB Simulink. Pomocí metod syntézy regulačního obvodu byly vypočteny stavitelné parametry regulátoru. V prostředí MATLAB Simulink jsou tyto parametry vloženy do bloku P regulátoru, který je součástí regulačního obvodu. Z P regulátoru je poté vysílán akční zásah na ventil. Pomocí vytvořeného regulačního obvodu v prostředí MATLAB Simulink je provedena inicializace snímače a následně je řízen polohovací pneumatický systém, viz příloha F.

Ještě, než je umožněno řízení systému, je nutné provést inicializaci, aby bylo možno odměřovat polohu pístu pneumatického válce a byla tak zajištěna funkčnost regulačního obvodu. Pomocí vývojového diagramu je popsána inicializace snímače polohy pístu pneumatického válce. Tato inicializace je prováděna manuálně a při každém prvním spuštění.

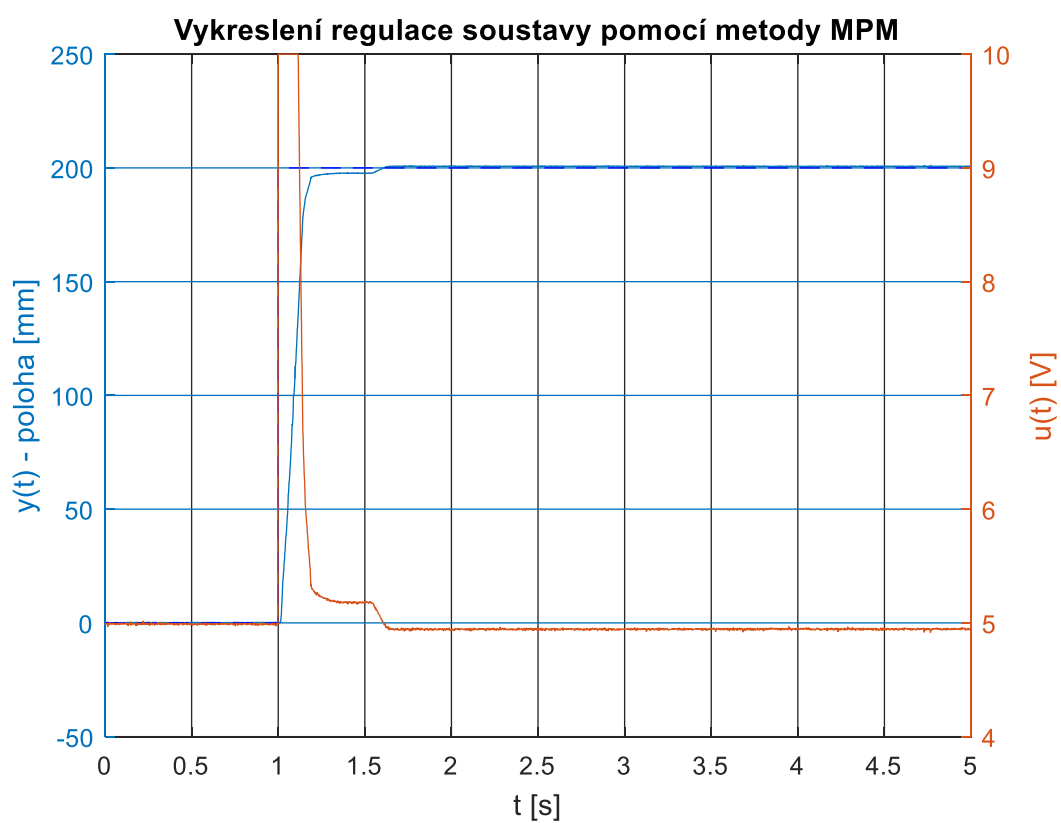
Po inicializaci je nutné ověřit funkčnost řídicího algoritmu, tedy regulačního obvodu. Pro ověření funkčnosti regulačního obvodu je zadána žádaná veličina a je měřena přechodová charakteristika. Z průběhu regulované veličiny (polohy) je vidět velikost trvalé regulační odchylky od žádané hodnoty. Reálné výsledky regulace jsou porovnány se simulačními výsledky.



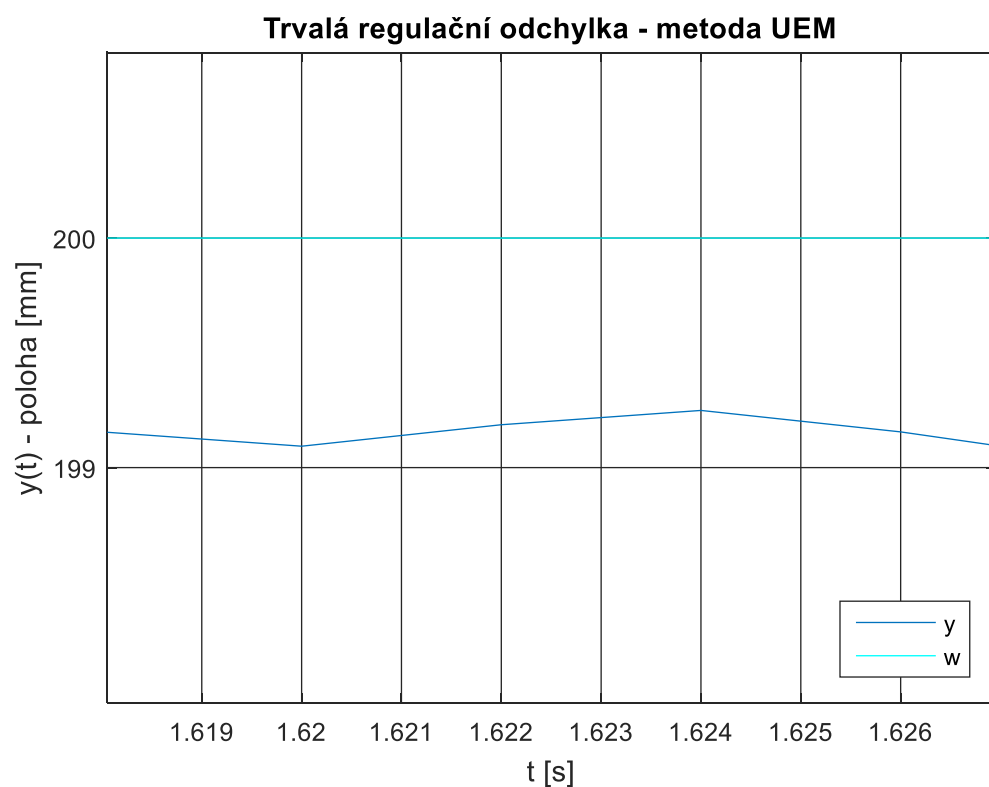
Obrázek 23 Průběh inicializace



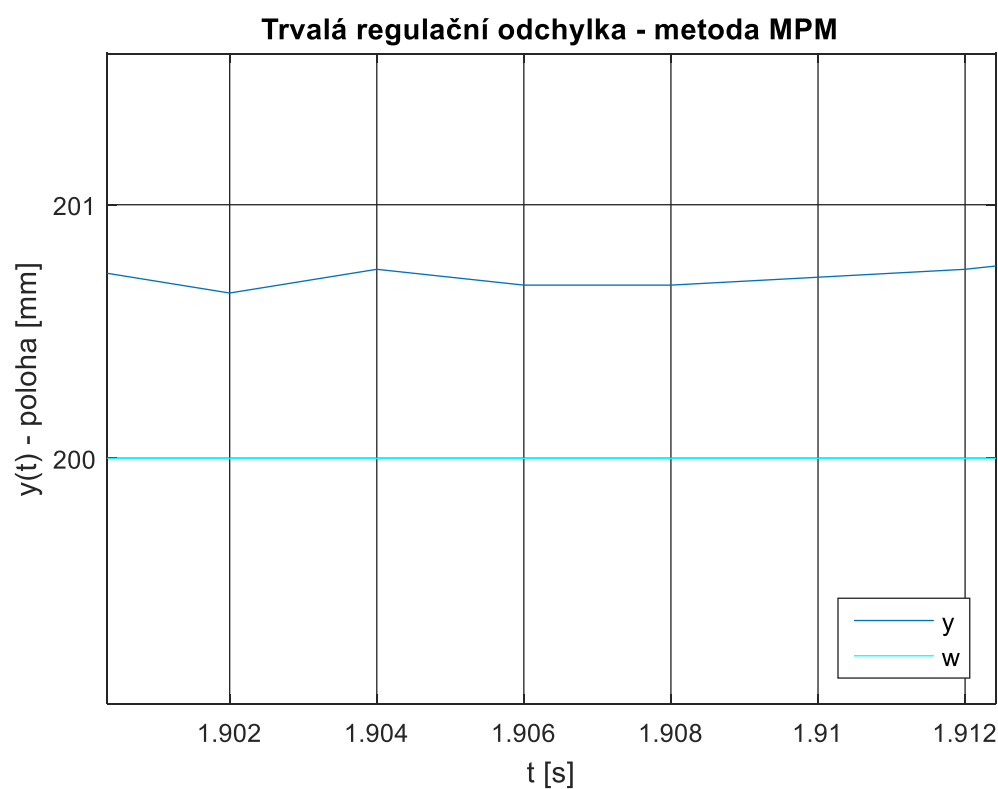
Obrázek 24 Regulace polohy – metoda UEM



Obrázek 25 Regulace polohy – metoda MPM



Obrázek 26 Trvalá regulační odchylka – metoda UEM



Obrázek 27 Trvalá regulační odchylka – metoda MPM

Z naměřených hodnot je vidět, že hodnoty jsou podobné simulovaným hodnotám. U naměřených hodnot je nulový překmit a doba regulace je přibližně od $0,25\text{ s}$ do $0,6\text{ s}$. U simulovaných hodnot je doba regulace přibližně $0,17\text{ s}$. Menší odlišnosti průběhu reálné regulace od simulované mohou být způsobeny tím, že setrvačnost soustavy byla určena nultého řádu s dopravním zpožděním, ale mohla by být také určena jako setrvačnost prvního řádu bez dopravního zpoždění. Setrvačnost soustavy může být způsobena tím, že u reálného modelu dochází ke stlačení vzduchu pístem, a je zde kladen odpor vzduchu. To tedy může být bráno buď jako setrvačnost prvního řádu, anebo jako dopravní zpoždění.

Odlišnosti regulace na reálném modelu od simulované regulace mohou být způsobeny také tím, že kompresor nevyrábí stlačený vzduch neustále, ale pouze tehdy, když hodnota tlaku kompresoru klesne pod určitou mez. U menších tlaků by tedy měl ve skutečnosti být větší akční zásah na ventil než u větších tlaků a naopak. Na regulaci to ale nemá až tak významný vliv, proto se práce touto problematikou nezabývá.

Při porovnání průběhů regulací reálného modelu je vidět, že průběh regulace je u obou metod přibližně stejný. U metody UEM je reálný průběh regulace téměř stejný jako průběh simulované regulace s dobou regulace $0,25\text{ s}$. U metody MPM je průběh regulace trochu odlišný od průběhu simulované regulace a doba regulace je přibližně $0,6\text{ s}$. Jak je vidět, tak doba regulace u simulace regulování polohy u obou metod je $0,17\text{ s}$. U simulace regulování polohy je tedy doba regulace kratší než doba regulace při regulaci polohy na reálném modelu, což může být způsobeno např.: stlačením vzduchu.

Při porovnání těchto dvou metod syntézy regulačního obvodu je vidět, že univerzální experimentální metoda má plynulejší průběh regulace, z důvodu většího akčního zásahu na ventil. Tzn., že doba regulace je rychlejší než u metody požadovaného modelu. Vznikne zde trvalá regulační odchylka okolo $0,9\text{ mm}$.

U metody požadovaného modelu je vidět, že průběh regulace není až tak plynulý jako u předchozí metody, ale trvalá regulační odchylka je zde o něco menší, je to okolo $0,89\text{ mm}$.

Z toho vyplývá, že pro rychlejší regulaci je vhodnější univerzální experimentální metoda, kde ale bude o něco větší trvalá regulační odchylka než u metody požadovaného modelu. A pro přesnější regulaci je vhodnější metoda požadovaného modelu, ale doba regulace bude o něco delší než u univerzální experimentální metody (Vítečková, 2008).

Zhodnocení dosažených výsledků

V této práci byl sestrojen pneumatický obvod, který se skládá z pneumatického generátoru, pneumatického válce (pneumomotor) a proporcionálního ventilu. Pneumatické prvky byly propojeny hadicemi. Pro propojení elektrických částí prvků byla vytvořena elektronická jednotka, která jednoduše propojila všechny prvky mezi sebou. Tato jednotka také slouží k převádění napěťové úrovně, které jsou využívány pro nastavení snímače a předávání signálu do karty MF634, popř. PLC. PC zpracovává informace digitálně a karta MF634 je převádí na analogový signál, a naopak karta převádí analogové signály na digitální pro zpracování v PC. Elektronická jednotka také slouží k inicializaci snímače polohy pístu pneumatického válce. K inicializaci je potřeba dodat 10 V na referenční a kalibrační vstup. Inicializace měla být původně prováděna pomocí řídicí jednotky, to ale nebylo možné z důvodu úbytku napětí na svorkovnici D/A převodnicích, proto bylo nutné sestavit desku plošných spojů, která posílá 10 V ze zdroje napájení, který napájí jednotlivé prvky. Inicializace je tedy prováděna nepřímo řídicí jednotkou přes optočleny, které jsou vloženy na desku plošných spojů. Deska je potom vložena do elektronické jednotky a je izolována. Elektronická jednotka byla navržena tak, aby bylo možné řídit obvod také přes další řídicí systém, PLC, ale není možné řídit obvod zároveň přes PC a PLC, pouze samostatně. Řízení polohovacího pneumatického systému je možné pouze z jedné řídicí jednotky, protože je takto navržena elektronická jednotka. V případě řízení polohovacího pneumatického systému ze dvou řídicích jednotek by mohlo dojít ke kolizi.

Dále bylo nutné identifikovat soustavu – pneumatický polohovací systém. To bylo provedeno tak, že na vstup ventilu bylo přivedeno vstupní napětí a byla naměřena přechodová charakteristika. Z přechodové charakteristiky bylo zjištěno, že se jedná o integrační soustavu se setrvačností nultého řádu s dopravním zpožděním. Přechodová charakteristika byla aproximována obrazovým přenosem. Aproximovaná a měřená přechodová charakteristika jsou téměř identické, tudíž jsou data aproximované přechodové charakteristiky vhodná k syntéze regulačního obvodu.

Syntéza regulačního obvodu byla provedena pomocí dvou metod. Pomocí metody požadovaného modelu a univerzální experimentální metody. Byly vypočteny stavitelné parametry regulátoru, které byly před použitím na reálném modelu odzkoušeny v simulačním prostředí MATLAB Simulink.

Poté byl vytvořen řídicí algoritmus. Řídicí algoritmus byl vytvořen v prostředí MATLAB Simulink. Byl použit P regulátor, pro který byly použity vypočtené parametry regulátoru. Následně byla ověřena funkčnost regulačního obvodu. Naměřená data regulace se téměř shodovala se simulovanými daty. Vzhledem k tomu, že při regulaci soustavy vznikla jen nepatrná regulační odchylka, proběhla regulace úspěšně.

Tento model polohovacího pneumatického systému byl navržen jako výukový model. Pro identifikování soustavy a vytvoření řídicího algoritmu je možné použít měřicí I/O kartu, je ale také možné použít PLC automat jako alternativní řídicí jednotku.

Seznam použité literatury

Kompresor, 2017. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2018-02-01]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kompresor>

KOPÁČEK, Jaroslav, 1996. *Pneumatické mechanismy*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava. ISBN 80-7078-306-0.

KOPÁČEK, Jaroslav a Bohuslav PAVLOK, 1998. *Tekutinové mechanismy*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava. ISBN 80-7078-238-2.

MF634 - PCI Express multifunction I/O card, 2014. *Humusoft.cz* [online]. Praha: Humusoft s.r.o., s. 1-37 [cit. 2018-01-31]. Dostupné z: <http://www2.humusoft.cz/www/datacq/manuals/mf634um.pdf>

Návod k použití DNCI-EN, 2017. *Festo.com* [online]. Esslingen am Neckar: Festo, s.r.o. [cit. 2018-01-31]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/465915/DNCI_2017-05e_8072825g1.pdf

Návod k použití MPYE-_-B-D2, 2014. *Festo.com* [online]. Esslinger am Neckar: Festo, s.r.o. [cit. 2018-01-31]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/405209/MPYE_2014-09g_8040802d2.pdf

NOSKIEVIČ, Petr, 1999. *Modelování a identifikace systémů*. 1. vyd. Ostrava: Montanex. ISBN 80-7225-030-2.

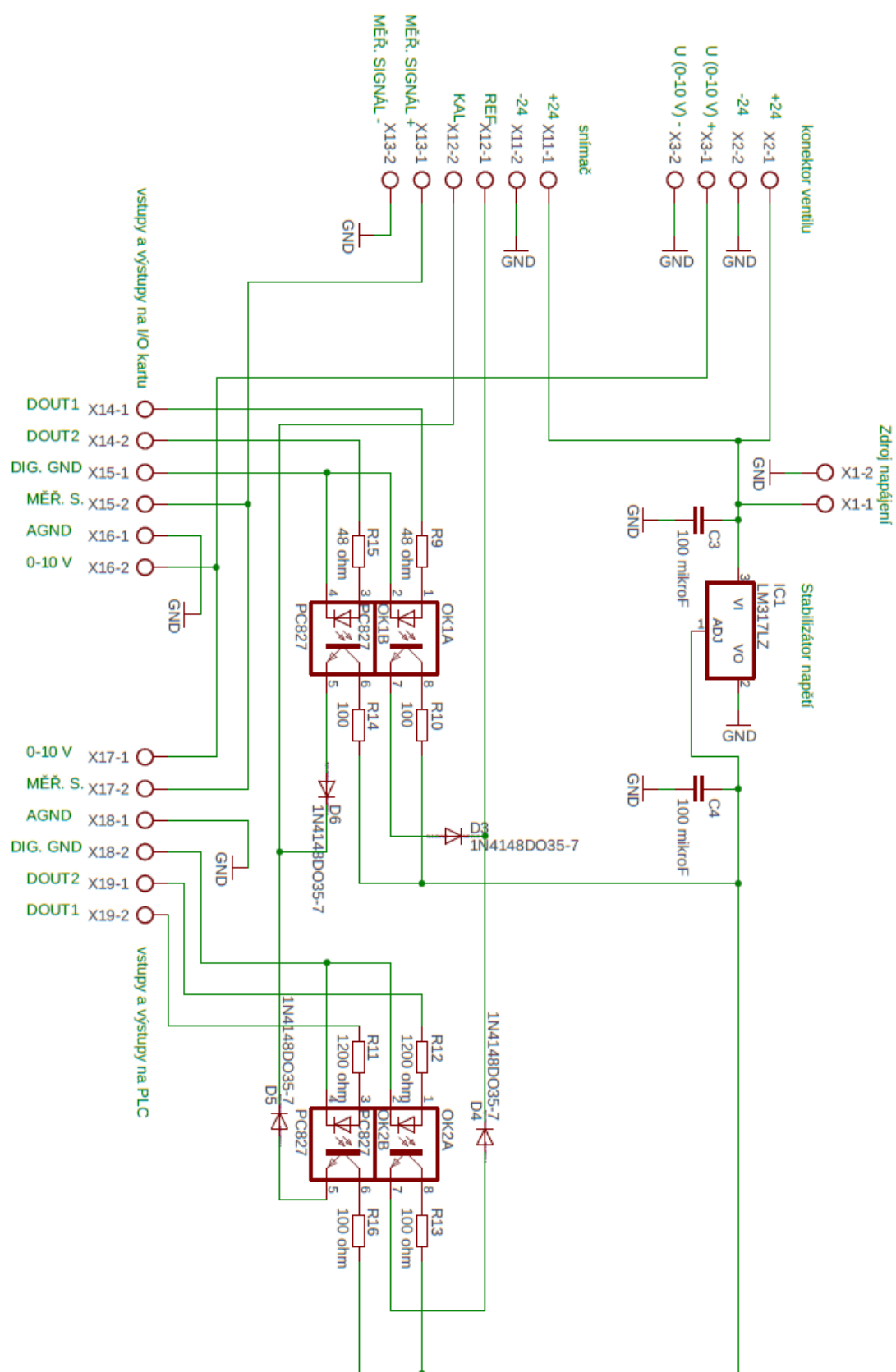
SIMATIC S7-1500 CPU 1516-3 PN/DP, 2016. *Siemens.com* [online]. Mnichov: Siemens AG [cit. 2018-01-31]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/59191914/simatic-s7-1500-cpu-1516-3-pn-dp?dti=0&lc=en-WW>

Stručná dokumentace DADE-MVC-Z6, 2015. *Festo.com* [online]. Esslinger am Neckar: Festo, s.r.o. [cit. 2018-01-31]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/405522/DADE-MVC_2015-03b_8043262z6.pdf

VÍTEČKOVÁ, Miluše a Antonín VÍTEČEK, 2008. *Základy automatické regulace*.
Přepřac. 2. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-1924-2.

Seznam příloh a seznam příloh na CD

A Elektrotechnické schéma desky plošných spojů v elektronické jednotce



Obrázek 28 Elektrotechnické schéma desky plošných spojů

- B Deska plošných spojů v prostředí Autodesk Eagle.
 - B.1 Deska plošných spojů.
 - B.2 Elektro-technické schéma zapojení desky plošných spojů.
- C Data identifikace soustavy v prostředí MATLAB Simulink.
- D Data aproximace soustavy v prostředí MATLAB Simulink.
 - D.1 Datové hodnoty.
 - D.2 Skript pro vykreslení grafu z datových hodnot.
 - D.3 Regulační obvod pro vykreslení průběhu přechodové charakteristiky aproximované soustavy.
- E Simulace regulování polohy pro metodu MPM a metodu UEM – vytvořený regulační obvod v prostředí MATLAB Simulink.
- F Vytvořený řídicí algoritmus pro inicializaci a řízení polohovacího pneumatického systému v prostředí MATLAB Simulink.
- G Data naměřených hodnot průběhu regulace polohy pístu pneumatického válce v prostředí MATLAB Simulink.
 - G.1 Pomocí metody MPM.
 - G.1.1 Naměřená data.
 - G.1.2 Skript pro vykreslení regulace.
 - G.2 Pomocí metody UEM.
 - G.2.1 Naměřená data.
 - G.2.2 Skript pro vykreslení regulace.